



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bach: Jorge Rafael Quispe Ortiz

Asesor:

Ing. Wilmer Salcedo Rebaza

Cajamarca - Perú

2020

## INDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Realidad problemática .....</b>	<b>13</b>
Polímeros .....	17
Geosintéticos .....	19
Soldaduras en geomembrana .....	32
Control de calidad en geosintéticos .....	34
<b>1.2. Formulación del Problema .....</b>	<b>43</b>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>43</b>
1.3.1. Objetivo General .....	43
1.3.2. Objetivos específicos .....	43
<b>1.4. Hipótesis .....</b>	<b>44</b>
1.4.1. Hipótesis específicas .....	45
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>46</b>
<b>1.5. Tipo de Investigación .....</b>	<b>46</b>
<b>1.6. Materiales, instrumentos y métodos .....</b>	<b>46</b>
1.6.1. Población: .....	46
1.6.2. Muestra: .....	46
1.6.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	47
<b>1.7. Procedimiento .....</b>	<b>47</b>
Acción de despliegue .....	47
Despliegue de material con equipo pesado .....	47
Capa de acondicionamiento geotextil oz8/yd2 .....	49
Proceso de instalación de geotextil .....	49
Capa de resistencia geonet triclinar .....	49
Capa primaria y secundaria con geomembrana HDPE 1.5mm - 2.0 mm .....	49
Proceso de soldadura por termofusión .....	49
Proceso de soldadura por extrusión .....	52
Proceso de pruebas de control de calidad en geosintéticos .....	58
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>64</b>
<b>CARACTERÍSTICAS INICIALES DE POZA .....</b>	<b>64</b>
Características de instalación por capa: .....	70
<b>MATERIAL NECESARIO POR CAPA .....</b>	<b>71</b>
Geotextil .....	71
Geomembrana HDPE 1.5 mm (Capa Secundaria) .....	71
Geonet Triclinar .....	71

Geomembrana HDEPE 2.0 mm (Capa Primaria).....	71
Extruido de detalle (Parches y Cierres) .....	71
<b>COSTOS CONSTRUCCIÓN POZA DE AGUAS EN EXCESO.....</b>	<b>72</b>
Dimensiones iniciales: .....	72
Costo de material por capa .....	73
Costo instalación por capa.....	74
Costo general.....	75
<b>ANÁLISIS CONTROL DE SOLDADURAS CAPA PRIMARIA Y SECUNDARIA .....</b>	<b>76</b>
Capa Secundaria Geomembrana Lisa HDPE 1.5 mm .....	76
Capa Primaria .....	96
<b><i>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</i></b>	<b><i>124</i></b>
<b>Discusión.....</b>	<b>124</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>133</b>
<b><i>REFERENCIAS .....</i></b>	<b><i>141</i></b>
<b><i>ANEXOS .....</i></b>	<b><i>143</i></b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Espesor de Geomembranas.....	26
Tabla 2 Clasificación por Material .....	27
Tabla 3 Valores Para Uniones Según Producto.....	63
Tabla 4 Puntos de Replanteo .....	64
Tabla 5 Costos y condiciones iniciales por material laminar .....	72
Tabla 6 Costos y condiciones iniciales para soldadura extruida. ....	72
Tabla 7 Costo de material por capa.....	73
Tabla 8 Costo de instalación por capa .....	74
Tabla 9 Costo total de revestimiento poza de aguas en exceso .....	75
Tabla 10 Testeos a 9°C Capa Secundaria (Extrusión) .....	76
Tabla 11 Promedio de testeos capa secundaria 9°C (Extrusión).....	76
Tabla 12 Testeos a 11°C Capa Secundaria (Extrusión) .....	78
Tabla 13 Promedio de testeos capa secundaria 11°C (Extrusión) .....	78
Tabla 14 Testeos a 12°C Capa Secundaria (Extrusión) .....	80
Tabla 15 Promedio de testeos capa secundaria 12°C (Extrusión) .....	80
Tabla 16 Testeos a 13°C Capa Secundaria (Extrusión) .....	82
Tabla 17 Promedio de testeos capa secundaria 13°C (Extrusión) .....	82
Tabla 18 Testeos a 14°C Capa Secundaria (Extrusión) .....	84
Tabla 19 Promedio de testeos capa secundaria 14°C (Extrusión) .....	84
Tabla 20 Testeos a 9°C Capa Secundaria (Termofusión) .....	86
Tabla 21 Promedio de testeos capa Secundaria 9°C (Termofusión) .....	86
Tabla 22 Testeos a 11°C Capa Secundaria (Termofusión) .....	88
Tabla 23 Promedio de testeos capa Secundaria 11°C (Termofusión) .....	88
Tabla 24 Testeos a 12°C Capa Secundaria (Termofusión) .....	90
Tabla 25 Promedio de testeos capa Secundaria 12°C (Termofusión) .....	90
Tabla 26 Testeos a 13°C Capa Secundaria (Termofusión) .....	92
Tabla 27 Promedio de testeos capa Secundaria 13°C (Termofusión) .....	92
Tabla 28 Testeos a 14°C Capa Secundaria (Termofusión) .....	94
Tabla 29 Promedio de testeos capa Secundaria 14°C (Termofusión) .....	94
Tabla 30 Testeos a 10°C Capa Primaria (Extrusión).....	96



Tabla 31 Promedio de testeos capa Primaria 10°C (Extrusión) .....	96
Tabla 32 Testeos a 11°C Capa Primaria (Extrusión).....	98
Tabla 33 Promedio de testeos capa Primaria 11°C (Extrusión) .....	98
Tabla 34 Testeos a 12°C Capa Primaria (Extrusión).....	100
Tabla 35 Promedio de testeos capa Primaria 12°C (Extrusión) .....	100
Tabla 36 Testeos a 13°C Capa Primaria (Extrusión).....	102
Tabla 37 Promedio de testeos capa Primaria 13°C (Extrusión) .....	102
Tabla 38 Testeos a 14°C Capa Primaria (Extrusión).....	104
Tabla 39 Promedio de testeos capa Primaria 14°C (Extrusión) .....	104
Tabla 40 Testeos a 10°C Capa Primaria (Termofusión) .....	106
Tabla 41 Promedio de testeos capa Primaria 10°C (Termofusión) .....	106
Tabla 42 Testeos a 11°C Capa Primaria (Termofusión) .....	108
Tabla 43 Promedio de testeos capa Primaria 11°C (Termofusión) .....	108
Tabla 44 Testeos a 12°C Capa Primaria (Termofusión) .....	110
Tabla 45 Promedio de testeos capa Primaria 12°C (Termofusión) .....	110
Tabla 46 Testeos a 13°C Capa Primaria (Termofusión) .....	112
Tabla 47 Promedio de testeos capa Primaria 13°C (Termofusión) .....	112
Tabla 48 Testeos a 14°C Capa Primaria (Termofusión) .....	114
Tabla 49 Promedio de testeos capa Primaria 14°C (Termofusión) .....	114
Tabla 50 Consolidado soldadura por extrusión de soldadura Capa Secundaria.....	116
Tabla 51 Consolidado soldadura por termofusión de soldadura Capa Secundaria .....	118
Tabla 52 Consolidado soldadura por extrusión de soldadura Capa Primaria.....	120
Tabla 53 Consolidado soldadura por termofusión de soldadura Capa Primaria .....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1 Geosintéticos como separador.....	20
Imagen 2 Geosintéticos como Filtración.....	21
Imagen 3 Geosintéticos como Drenaje .....	21
Imagen 4 Geosintéticos como Refuerzo .....	22
Imagen 5 Geosintéticos como Flujo/Gas .....	22
Imagen 6 Geosintéticos como control de erosión.....	22
Imagen 7 Esquema de la polimerización del monómero de etileno .....	31
Imagen 8 Unión por Termofusión .....	33
Imagen 9 Unión por Extrusión . .....	34
Imagen 10 Cuña Caliente Wedge-If 2000.....	40
Imagen 11 Termofusora MAL-558.D.....	41
Imagen 12 Tensiómetro 2501440 .....	43
Imagen 13 Aseguramiento para despliegue.....	48
Imagen 14 Despliegue con equipo pesado .....	48
Imagen 15 Soldadura Por Temofusión.....	51
Imagen 16 Característica Soldadura por Termofusión .....	52
Imagen 17 Vista Frontal Soldadura por Termofusión .....	52
Imagen 18 Pegado Primario Soldadura Extruida.....	54
Imagen 19 Amolado Soldadura Extruida .....	55
Imagen 20 Colocación de Cobre Soldadura Extruida.....	55
Imagen 21 Soldadura por Extrusión .....	56
Imagen 22 Soldadura Extruida .....	57
Imagen 23 Vista Frontal Soldadura Extruida .....	57
Imagen 24 Cuponeo Pruebas .....	59
Imagen 25 Distribución de Probetas Según Prueba.....	59
Imagen 26 Pruebas en Soldadura Extruida .....	60
Imagen 27 Pruebas en Soldadura por Fusión .....	60
Imagen 28 Prueba de Corte .....	60
Imagen 29 Prueba de Desgarro.....	61
Imagen 30 Prueba de Desgarro en Campo .....	61

Imagen 31 Prueba de Corte en Campo.....	62
Imagen 32 Testeos Terminados y Fuente de Datos .....	62
Imagen 33 Soldadura por termofusión en paneles.....	144
Imagen 34 Equipo de cuña caliente en ejecución .....	144
Imagen 35 Instalación de cobre previo a soldadura por extrusión .....	145
Imagen 36 Soldadura por extrusión (Instalación de parche) .....	145
Imagen 37 Probetas testeadas .....	146
Imagen 38 Tensiómetro por ser aprobado Munsch .....	146
Imagen 39 Toma de datos en campo.....	147
Imagen 40 Conformación de sangría en tubería de ZAN .....	147
Imagen 41 Tendido capa secundaria.....	148
Imagen 42 Tendido capa secundaria poza de bombas .....	148
Imagen 43 Despliegue de capa secundaria desde zona acceso de mantenimiento. ....	149

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Terreno inicial poza de aguas en exceso vista superior.....	66
Gráfico 2 Vista frontal posa de aguas en exceso. (Detalle A-A).....	67
Gráfico 3 Vista lateral posa de aguas en exceso. (Detalle B-B).....	67
Gráfico 4 Orden y conformación por capa.....	68
Gráfico 5 Detalle conformación acceso de mantenimiento .....	68
Gráfico 6 Detalle zanja de anclaje .....	69
Gráfico 7 Detalle conformación de bota (Sección C-C) .....	69
Gráfico 8 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 9°C (Extrusión) .....	77
Gráfico 9 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Extrusión) .....	79
Gráfico 10 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Extrusión) .....	81
Gráfico 11 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Extrusión) .....	83
Gráfico 12 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Extrusión) .....	85
Gráfico 13 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 9°C (Termofusión) .....	87
Gráfico 14 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Termofusión) ...	89
Gráfico 15 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Termofusión) ...	91
Gráfico 16 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Termofusión) ...	93
Gráfico 17 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Termofusión) ...	95
Gráfico 18 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 10°C (Extrusión) .....	97
Gráfico 19 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Extrusión) .....	99
Gráfico 20 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Extrusión).....	101
Gráfico 21 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Extrusión) .....	103
Gráfico 22 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Extrusión) .....	105
Gráfico 23 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 10°C (Termofusión) .	107
Gráfico 24 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Termofusión) .	109
Gráfico 25 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Termofusión) .	111
Gráfico 26 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Termofusión) .	113
Gráfico 27 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Termofusión) .	115
Gráfico 28 Consolidado soldadura por extrusión Capa Secundaria .....	116
Gráfico 29 Consolidado soldadura por extrusión temperatura equipo- temperatura ambiente .....	117

Gráfico 30 Consolidado soldadura por termofusión Capa Secundaria .....	118
Gráfico 31 Consolidado soldadura por termofusión – Velocidad promedio equipo. ....	119
Gráfico 32 Consolidado soldadura por extrusión Capa Primaria .....	120
Gráfico 33 Consolidado soldadura por extrusión temperatura equipo- temperatura ambiente .....	121
Gráfico 34 Consolidado soldadura por termofusión Capa Primaria.....	122
Gráfico 35 Consolidado soldadura por termofusión – Velocidad promedio equipo. ....	123

## RESUMEN

En el presente estudio se determinó la conformación y diseño de una poza de aguas en exceso para minería a cielo abierto, se contó con análisis completo de tendido de las cuatro capas de geosintéticos con un costo total bruto estimado de construcción de 524.453.66 US\$ del cual el 12,26% es el representa costo de conformación el resto es netamente comprendido por la obtención de 192 rollos de geotextil 8oz/y<sup>2</sup> , 90 rollos de geomembrana HDPE lisa 1.5mm , 122 rollos de geonet triclinar, 91 rollos de geomembrana HDPE lisa 2.0 mm y 18 cajas con cordón de soldadura extruida HDPE 5mm, así mismo se realizó testeos en tensiómetro (Pwt 2501440) para analizar y determinar los parámetros óptimos de soldadura en equipos Munsch MAK-58D (Soldadura por extrusión) y Platic Weldin Technologies Wedge-It 2000 (Soldadura por termofusión). teniendo como fuente de análisis pruebas de corte y desgarro con un total de 1000 datos analizados, a temperatura ambiente cambiante, basados en normas de control de calidad ASTM 6392 y GM-19.

**Palabras clave:** Conformación con geomembrana, Geotextil, Geonet, Geomembrana HDPE, Temperatura Ambiente, Extrusión, Termofusión.

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS

- Norambuena Contrera, J., Zamora Barraza, D., Castro Fresno, D., & Vega Zamanillo, Á. (2019). Análisi térmico de geosintéticos utilizados en la rehabilitación de pavimentos. *Revista chilena de ingeniería*, 95-100.
- Alibaba. (2 de Marzo de 2020). *Alibaba*. Obtenido de Alibaba : <https://spanish.alibaba.com/g/hdpe-black-rolls-geomembrane.html>
- Aquiapruf S.A. (2015). *Manual de instalación Geomembranas de polietileno HDPE*. Medellín Colombia: Construction Quality Assurance.
- ASTM D 6392 – 99. (2008). Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods. United States:: Copyright © ASTM International.
- Augusto, M. R. (2018). Plan de aseguramiento y control de calidad para geosintéticos aplicado al sector minero. *Tesis de Titulación*. Universidad Nacional De San Agustín, Arequipa – Perú.
- Bacas, A. B. (2009). Comportamiento resistente al deslizamiento. *Tesis Doctoral*. Universidad De Cantabria, Santander- España.
- Bathurst, R. J. (2007). Funciones de los Geosintéticos. *International Geosynthetic Society – IGS*. Universidad de Brasilia, Brasil.
- Bathurst, R. J. (2016). Funciones de los Geosintéticos. *IGS*, <https://www.geosyntheticssociety.org/wp-content/plugins/resources/documents/Functions/English.pdf>.
- Breitenbach, A., & Smith, M. (2007). La Historia de las Geomembranas en la Industria Minera. *Minería & Medio Ambiente*, 8-11.
- Chavez, I. (2018). *Bases teóricas para métodos de control de calidad aplicados a los geosintéticos en la plataforma Carachugo 10B para el tratamiento de solución cianurada, La Encañada-Cajamarca 2018*. Universidad Privada De Trujillo: Trujillo-Perú.
- Chavez, R. J. (Noviembre de 2015). Control de Calidad en Instalación de Geosintéticos Geomembrana HDPE. Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Cidelsa . (15 de Enero de 2020). *Cidelsa una nueva visión del mundo* . Obtenido de Cidelsa: [https://www.cidelsa.com/media/prod\\_brochure\\_2/Pag\\_GCL.pdf](https://www.cidelsa.com/media/prod_brochure_2/Pag_GCL.pdf)
- Cidelsa. (15 de Enero de 2020). <https://www.cidelsa.com/>. Obtenido de Cidelsa: [https://www.cidelsa.com/media/prod\\_brochure\\_2/Brochure\\_geoceldas\\_Set\\_-\\_2015.pdf](https://www.cidelsa.com/media/prod_brochure_2/Brochure_geoceldas_Set_-_2015.pdf)
- Fausto, V. H. (2014). El efecto de la alta temperatura y baja velocidad de avance de las uniones soldadas por termofusión (cuña caliente) en láminas de geomembrana HDPE de 2.0 mm. *Tesis de Titulación*. Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Arequipa- Perú.
- Geosistemas Pavco de Mexichem. (2013). Funciones y Aplicaciones Geodrén PLANAR Y VIAL. *Geosoft Pavco*, 12.
- Herraplas. (24 de Enero de 2020). *Herraplas*. Obtenido de Herraplas.mx: <http://herraplas.mx/producto/equipo-de-termofusion-con-cuna-caliente-wedge-it/>



- Herraplas. (24 de Enero de 2020). *Herraplas*. Obtenido de Herraplas.mx: <http://herraplas.mx/producto/extrusora-manual-mak-58-d-2/>
- Herraplas. (24 de Enero de 2020). *Herraplas*. Obtenido de Herraplas.com: <http://herraplas.mx/producto/equipos-para-pruebas-destructivas-tensiometro-accura-lite/>
- Herraplas. (27 de 01 de 2020). *Herraplas*. Obtenido de Herraplas.mx: <http://herraplas.mx/producto/equipos-para-pruebas-destructivas-cuponera/>
- Instituto Nacional de Educación Tecnológica. (2011). *Polímeros*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Educación.
- Llanos Chuquiruna, E. J., & Llanos Chuquiruna, N. A. (2019). Resistencia al corte y desgarro en geomembrana HDPE. *Tesis de Titulación*. Universidad Privada Del Norte, Cajamarca- Perú.
- Mamani, J. C. (2017). Control de Calidad en la Impermeabilización de pad de lixiviación mina Lagunas Norte – La Libertad, 2016. *Tesis de Titulación*. Universidad Cesas Vallejo, Lima- Perú.
- Marieco SRL. (2006). *Manual de control de calidad & seguridad cualitativa para instalación de geomembranas*. Santa Cruz Bolivia: International Association of Geosynthetic Installers.
- Merey. (2017). Plan de control de calidad para la instalación de geosintéticos. *PM-101 Calidad Geosintéticos.02*, 1-46.
- Pacheco, P. C. (2013). Diseño aplicación de geotextiles y geomembranas en plantas de tratamiento de aguas residuales. *Tesis de Titulación*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo- Perú.
- Pinto, W. C. (2014). Control de calisas en contrucción de pad de lixiviación. *Tesis de Titulación*. Universidad Nacional De San Agustín, Arequipa- Perú.
- Rumbo Minero. (2016). Geosintéticos: Soluciones que impermeabilizan y protegen. *RUMBO MINERO*, <https://www.rumbominero.com/revista/informes/geosinteticos-soluciones-que-impermeabilizan-y-protegen/>.
- Salazar, B. M. (2018). Comportamiento de las geomembranas sintéticas poliméricas utilizadas en la impermeabilización del embalse de Buen Paso. *Tesis Doctoral*. Universidad Complutense De Madrid, Madrid- España.
- Salazar, J. L. (2014). Aseguramiento de calidad en la construcción usando polietileno de alta densidad (HDPE). *Titulo de Titulación*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca-Perú.
- Segepsaj, P. S. (2019). *Dossier control de calidad de geosintéticos- Capas primaria y Secundaria Revisión 0 -Tomo 1 - Proyecto "Poza Morales"*. Cajamarca: Segepsaj S.R.L.
- Sotraf. (2013). Exhibición Internacional de la Industria Minera. *Impermeabilización de Obras en Minería*.
- Tecnifluidos SAC. (2013). Precedimeinto de Instalacion de Geosintéticos. 03.